E/CONF.39/D/190
21 Nov.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : D.14

France

# ETUDE DES FONDATIONS A L'AIDE DE PENETROMETRES

Par R. L'HERMINIER,
Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique,
Directeur Technique du Centre
Expérimental de Recherches et d'Etudes
du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP)

Y. TCHENG,
Docteur ès Sciences,
Ingénieur en Chef du CEBTP,

et G. JACQUELINE,
Ingénieur T. P. E.,
Secrétaire général du CEBTP

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

## NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

A l'heure actuelle il existe de nombreux procédés de reconnaissance des sols qui permettent d'établir l'avant-projet et le projet des fondations de bâtiments ou d'ouvrages d'art.

Ces procédés peuvent être classés en deux catégories principales :

a) Prélèvements d'échantillons intacts de sol et essais en laboratoire.

b) Essais in-situ.

La première catégorie est généralement couteuse et délicate. Elle nécessite un équipement parfois difficilement transportable.

Pour exécuter les sondages, l'eau est souvent un élément indispensable.

Dans les régions arides, ces sondages sont donc particulièrement onéreux.

Enfin, le fonctionnement d'un laboratoire de sol doit être assuré par des spécialistes qui sont encore actuellement relativement peu nombreux dans les pays en voie de développement.

Par contre, les essais in-situ sont économiques et surtout rapides. Le matériel correspondant est en outre d'un transport facilement réalisable.

Ils conviennent donc parfaitement aux pays neufs pour lesquels le réseau routier est en quelque sorte à l'état naissant.

Si les méthodes de reconnaissance in-situ sont nombreuses, l'interprétation des essais n'est pas toujours expliquée par les utilisateurs, de sorte que chacun interprête les résultats suivant sa propre formule.

Nous nous sommes efforcés d'établir une formule simple, accessible à tous futurs utilisateurs d'un des engins de mesure : le PENETROMETRE DYNAMIQUE. C'est sans doute l'appareil le plus

simple, le plus robuste, le plus économique et le mieux adapté aux vastes régions dépourvues de communications terrestres.

Il existe trois types principaux de pénétromètres dynamiques à cône :

- Pénétromètre dans lequel le fût et la pointe ont le même diamètre. Cet appareil mobilise à la fois le frottement latéral et la résistance de pointe, sans qu'il soit possible de dissocier ces deux termes. Pour cette raison, son application reste généralement limitée à la détermination de la force portante des pieux, ce qui d'ailleurs est discutable, la variation de la résistance en fonction du diamètre étant différente suivant qu'il s'agit de la pointe ou du fût.

- Pénétromètre comportant une tige centrale d'un diamètre sensiblement inférieur à celui de la pointe. Cet appareil ne mobilise en principe, que la résistance de pointe. Toutefois,dans le cas de sables purs à texture lâche, il peut arriver que le matériau se resserre autour du fût et exerce ainsi un léger frottement latéral. Heureusement, ce frottement parasite reste généralement faible comparativement au terme de pointe. Malgré cet inconvénient, le pénétromètre de ce type est le plus répandu.

- Pénétromètre comportant également une tige centrale de diamètre inférieur à la pointe, mais équipé d'un tube creux de diamètre identique à celui de la pointe. Ce tube, qui n'est pas lié à la pointe, permet d'empêcher les sols susjacents de se refermer et de frotter le long de la tige centrale. On élimine ainsi l'inconvénient signalé précédemment. Malgré ce perfectionnement les appareils de ce type sont peu utilisés car ils sont plus onéreux et d'un maniement plus difficile que les précédents.

Dans ce qui suit nous n'envisagerons que les pénétromètres dont le diamètre de la pointe est supérieur à celui de la tige centrale, c'est à dire, ceux qui permettent de mesurer la résistance de pointe seule. En règle générale, pour ces appareils, le diamètre de la pointe est compris entre 35 et 60 mm, et le cône forme un angle de 15 à 60°.

Parmi les différentes applications de ces pénétromètres, nous traiterons exclusivement de la détermination du taux de travail admissible sous une fondation à base élargie (fondation sur semelles) à partir des résultats de battage et cela pour différents types de sols.

Pour déterminer la résistance de rupture à la pointe d'un pénétromètre, à partir des résultats de battage, il existe différentes formules de valeurs inégale.

La plus connue et la plus généralement utilisée est la formule des Hollandais. Selon Monsieur CAQUOT, c'est cette formule qui s'écarte le moins de la réalité pourvu que l'on tienne compte du raccourcissement élastique du pieu ou du pénétromètre au cours du battage.

Rappelons que cette formule peut s'exprimer comme suit :

$$R = \frac{M^2 H}{S.\ e\ (P + P)}$$

R est la résistance unitaire

e est l'enfoncement unitaire du pieu (par coup de mouton)

M est le poids du mouton

H est la hauteur de chute du mouton

P est le poids du pieu

S est la section du pieu

Pour évaluer la force portante d'un pieu, au moyen de cette formule, on applique habituellement un coefficient de sécurité de 6. Ce coefficient de sécurité peut paraître élevé. En réalité il tient compte implicitement du fait que l'énergie produite par la chute du mouton n'est pas absorbée uniquement par l'enfoncement du pieu, mais également par les déformations élastiques de ce pieu.

Pour exprimer la véritable résistance de rupture du sol (résistance correspondant à un chargement statique) il convient donc d'introduire au dénominateur, en addition de l'enfoncement, un terme $e_1$ représentant le raccourcissement élastique du pieu. La formule des Hollandais ainsi corrigée devient :

$$R' = \frac{M^2 H}{S\ (e + e_1)(M + P)}$$

C'est cette formule corrigée que les Américains appellent "Formule de l'Engineering News Record". Dans la pratique, il est assez difficile d'évaluer directement le terme $e_1$.

Plusieurs auteurs ont établi des comparaisons entre les

forces portantes déduites, lors d'essais de pénétration, d'une part de la résistance du sol à l'enfoncement (pénétration statique) et d'autre part, de sa résistance au battage (pénétration dynamique). Leurs conclusions sont assez voisines.

Aux journées de Mécanique des Sols des 7, 8 et 9 Juillet 1952, Monsieur BUISSON a exposé les conclusions suivantes, basées sur un très grand nombre de cas :

" Si l'on appelle S la force portante statique totale (effort de pointe + frottement latéral) déduite des résultats de pénétration par pression, et D la force portante dynamique, calculée au moyen de la formule des Hollandais, sans coefficient de sécurité, (formule non corrigée) à partir des résultats de battage, on constate que tant que le refus au battage dépasse 2,5 mm le rapport S/D est voisin de 0,75, au moins dans des sols sableux, marneux ou calcaires. Ce rapport varie linéairement de 0 à 0,75 quand le refus varie entre 0 et 2,5 mm.

" ... pour quelques cas, le rapport S/D atteint ou dépasse 1, et c'est pour des sables grossiers, graviers ou sables entrecoupés de plaquettes.

" Pour d'autres essais, on a trouvé des rapports S/D de 0,5 et même de 0,3 : il s'agissait de sols vaseux ou argileux...".

Notre expérience personnelle confirme les conclusions de Monsieur BUISSON. Dans la plupart des cas, pour obtenir la résistance statique à la pointe du pénétromètre, il convient donc d'affecter la résistance dynamique (calculée au moyen de la formule des Hollandais sans coefficient de sécurité) d'un coefficient de réduction compris entre 0,5 et 0,75. Exceptionnellement, ce coefficient de réduction peut atteindre 0,3 (sol de très faible compacité ou à consistance molle) ou être voisin de 1 (sol grossier à frottement très élevé).

Nous ne prétendons pas que les essais de pénétration dynamique peuvent résoudre tous les problèmes de fondation.

Cependant, à défaut de procédés classiques de reconnaissance, les pénétromètres dynamiques peuvent fournir des renseignements très utiles pour l'établissement des avant-projets et projets de fondations.

En première approximation, nous pouvons donc fixer une règle simple pour déterminer le taux de travail admissible à partir d'un essai de pénétration dynamique : on prend le vingtième de la résistance de pointe calculée à partir de la formule des Hollandais.

Ce coefficient de minoration peut paraître excessif.

Il a été déterminé à partir des formules habituelles de Mécanique des Sols d'une part et des résultats d'expériences effectuées à ce jour, d'autre part.

Bien entendu, dans le cas où la nature du sol est mieux connue ce coefficient peut être plus faible, notamment par exemple pour une fondation à faible profondeur reposant sur un sol graveleux compact.

En tous cas, nous pensons que ce coefficient est toujours supérieur à 15.

1815 F - Nov. 1962 - 1,000